

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2005 年 3 月 31 日 (31.03.2005)

PCT

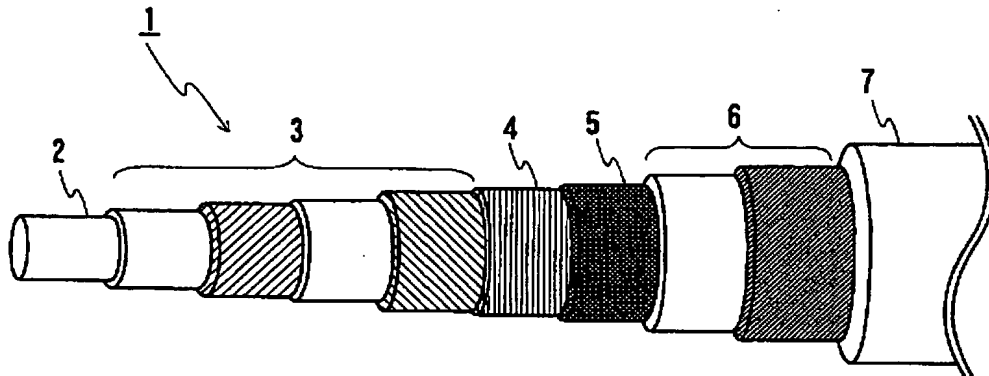
(10) 国際公開番号
WO 2005/029509 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H01B 12/02
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/013119
- (22) 国際出願日: 2004 年 9 月 9 日 (09.09.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2003-332284 2003 年 9 月 24 日 (24.09.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 湯村 洋康 (YU-MURA, Hiroyasu) [JP/JP]; 〒5548511 大阪府大阪市此花区島屋一丁目 1 番 3 号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP). 西村 政信 (NISHIMURA, Masanobu) [JP/JP]; 〒5548511 大阪府大阪市此花区島屋一丁目 1 番 3 号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP).
- (74) 代理人: 深見 久郎, 外 (FUKAMI, Hisao et al.); 〒5300054 大阪府大阪市北区南森町 2 丁目 1 番 2 9 号 三井住友銀行南森町ビル 深見特許事務所 Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT,

[続葉有]

(54) Title: SUPER-CONDUCTIVE CABLE

(54) 発明の名称: 超電導ケーブル



(57) Abstract: A super-conductive cable includes: a former (2); a super-conductive layer (3) formed on the outer circumference of the former (2); an electrically insulating layer (4) formed on the outer circumference of the conductive layer (3); a shield layer (6) formed on the outer circumference of the insulating layer (4); and a normally conductive metal layer (5) formed between the insulation layer (4) and the shield layer (6). The normally conductive metal layer (5) existing inside the shield layer (6) has a greater inductance than the shield layer (6), thereby suppressing temperature increase of the super-conductive layer when an accident such as shortcircuit has occurred and reducing the AC loss during normal current flowing because more current flows by the shield layer (6).

(57) 要約: フォーマ (2) と、フォーマ (2) の外周に形成される超電導層 (3) と、導体層 (3) の外周に形成される電気絶縁層 (4) と、絶縁層 (4) の外周に形成されるシールド層 (6) と、絶縁層 (4) とシールド層 (6) 間に形成される常電導金属層 (5) とを具える。シールド層 (6) の内側に存在する常電導金属層 (5) は、シールド層 (6) よりもインダクタンスが大きいことで、短絡などの事故の際に超電導層の温度上昇を抑制することができると共に、通常電流の通電時において、シールド層 (6) により電流が流れるため、交流損失を低減することができる。



LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI,
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,
BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

超電導ケーブル

技術分野

- [0001] 本発明は、フォーマと、超電導層と、電気絶縁層とを具える超電導ケーブルに関するものである。特に、短絡事故などの際の大電流を分流して超電導層の発熱を抑制することができると共に、定常電流の通電の際における交流損失を低減することができる超電導ケーブルに関する。

背景技術

- [0002] 従来、Bi系高温超電導線材などからなる超電導導体を具えた超電導ケーブルが知られている。図2(A)は、ケーブルコアを3本具える三芯一括型の三相超電導ケーブルの断面図、(B)はコアの一例を示す斜視図である。この超電導ケーブル100は、断熱管101内に3本のケーブルコア102を撚り合わせて収納させた構成である。
- [0003] 図2(A)、(B)を参照して、断熱管101は、コルゲート外管101aとコルゲート内管101bとからなる二重管の間に断熱材(図示せず)が配置され、かつ二重管内が真空引きされた構成である。各ケーブルコア102は、中心から順にフォーマ200、超電導導体201、電気絶縁層202、シールド層203、外傷保護層204を具えている。フォーマ200は、銅やアルミニウムなどの常電導材料にて中空状、又は中実状に形成される。超電導導体201は、フォーマ200上に超電導線材を多層に螺旋状に巻回して形成される。電気絶縁層202は、半合成絶縁紙などの絶縁材料を巻回して形成される。シールド層203は、電気絶縁層202上に超電導導体201と同様の超電導線材を螺旋状に巻回して形成される。そして、シールド層203には、定常時、超電導導体201に流れる電流と逆向きでほぼ同じ大きさの電流が誘起される。この誘導電流により生じる磁場にて、超電導導体201から生じる磁場を打ち消し合い、ケーブルコア102外部への漏れ磁場をほぼゼロにすることができる。内管101bと各ケーブルコア102とで囲まれる空間103が通常、冷媒の流路となる。また、コルゲート外管101aの上には、ポリ塩化ビニル等による補強層(防食層)104が形成されている。
- [0004] 超電導ケーブルの電力系統において短絡や地絡などの事故が発生した場合、大

電流が生じる。そのため、限流器の設置など、事故電流に対する抑制対策を行わなければ、超電導ケーブルに定常時の電流を超えるような大電流が流れることになる。例えば、定格電圧350MV_A、定格電流3kAとする場合、短絡事故の際には、約31.5kA/sec(線路の一例としては、約31.5kAの電流が約1秒流れる)の短絡電流が生じる。そして、臨界電流値を越える大電流が超電導導体に流れると、同導体は、常電導に転移し(クエンチし)、この転移によるジュール損(熱損失)が生じる。同時に、シールド層にも同様に大電流が誘導されて、常電導に転移し、ジュール損が生じる。特に、ジュール損が大きな場合は、超電導導体やシールド層を構成する超電導線材が焼損したり、焼損に至らなくても、急激な温度上昇により線材内部のボイドに入っていた冷媒が気化して超電導線材にバルーニング(窒素膨れ)が生じ臨界電流値を低下させる。また、冷媒の気化に伴い、絶縁破壊を引き起こす可能性もある。そして、このような事故による損傷などを復旧するまでには、非常に長い時間を要する。

[0005] そこで、超電導導体と電気絶縁層間に銅層を設けたり(特許文献1参照)、保護層の外周に銅層を設け(特許文献2参照)、短絡などの事故で大電流が生じた際、上記金属層に電流を分流させることで、超電導層の発熱を抑制させる技術が知られている。また、特許文献3には、電気絶縁層の外周にシールド層及び銅層を多層に設け、銅層間にシールド層を具える構成が記載されている。

特許文献1:特開2000-067663号公報(特許請求の範囲、図1参照)

特許文献2:特開2001-052542号公報(特許請求の範囲、図1参照)

特許文献3:特開2002-008459号公報(特許請求の範囲、図1参照)

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0006] しかし、従来の技術では、定常電流の通電時において交流損失が大きくなるという問題がある。

[0007] 上記特許文献1-3に記載される技術は、いずれも銅層を設けることで、短絡などの事故の際、銅層に事故電流を分流して、超電導層の保護を図ることができると共に、定常電流の通電時において渦電流損失の低減を図ることができる。しかし、いずれも、超電導線材からなる超電導層(超電導導体又はシールド層)の外周に銅層を設

ける構成、即ち、銅層が超電導層よりも外側に存在する構成である。この構成では、定常電流の通電時において、超電導層よりも銅層に電流が流れ易く、交流損失、特に、ジュール損が大きくなるという問題がある。

[0008] 超電導層や銅層は、定常電流の通電時、短絡などの事故時に係わらず、ケーブルコアにおいて内側に配置される層ほどインダクタンスが大きくなる。従って、従来の構成では、超電導層のインダクタンスと比較して銅層のインダクタンスの方が小さくなるため、定常電流の通電時、銅層の方がより電流が流れ易くなり、ジュール損が増大する。特に、特許文献3に記載される技術では、超電導層よりも銅層を多く設けると共に、各超電導層の外側に必ず銅層を設けているため、銅層に電流が流れることによる交流損失が非常に大きいと思われる。

[0009] そこで、本発明の主目的は、短絡などの事故の際に超電導層の温度上昇を抑制することができると共に、定常電流の通電時において交流損失を低減することができる超電導ケーブルを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0010] 上記課題を鑑み、本発明者らが種々検討した結果、定常電流の通電時における渦電流損失よりもジュール損の方がはるかに大きいとの知見を得た。この知見に基づき、定常時におけるジュール損をより減少させる構成として、本発明は、超電導層、特に第二超電導層の内周に常電導金属材料からなる保護層を設けることを規定する。

[0011] 即ち、本発明は、常電導金属からなるフォーマと、前記フォーマの外周に形成される第一超電導層と、前記第一超電導層の外周に形成される電気絶縁層と、前記電気絶縁層の外周に形成される第二超電導層と、前記電気絶縁層と第二超電導層間に形成される常電導金属層とを具えることを特徴とする。

[0012] 以下、本発明をより詳しく説明する。

[0013] 本発明は、内側から順にフォーマ、第一超電導層、電気絶縁層、第二超電導層を有するケーブルコアを具える超電導ケーブルを対象とする。従って、上記ケーブルコアを1本具える単相ケーブルでもよいし、上記コアを複数具える多相ケーブルでもよい。多相ケーブルの場合、例えば、3本のケーブルコアを撚り合わせて断熱管に収納された三芯一括型の三相超電導ケーブルが挙げられる。

- [0014] 第一超電導層としては、超電導導体となる層、第二超電導層としては、シールド層が挙げられる。これら超電導層の形成は、いずれも超電導材料からなる線材を用いることが挙げられる。超電導線材としては、パウダーインチューブ法により製造されたものが挙げられる。例えば、Bi系、具体的にはBi2223系、Bi2212系などの超電導相の原料粉末を銀や銀合金の金属パイプに充填して伸線加工し、得られた線材を束ねて同パイプに挿入して多芯線材としたものや、この多芯線材を更に圧延してテープ状にしたもの、即ち、銀又は銀合金からなるマトリクスと、このマトリクスに内蔵される超電導材料とから構成されるものが挙げられる。
- [0015] 本発明ケーブルでは、短絡などの事故の際、第二超電導層の内周に設ける常電導金属層やフォーマに事故電流を分流させるが、超電導層にも事故電流が分流される。例えば、上記マトリクスと超電導材料とからなる超電導線材にて超電導層を形成している場合、事故電流の通電に伴う温度上昇により、超電導層が超電導状態から常電導状態に移行すると、超電導材料は絶縁体となるため、マトリクスに電流が流れることになる。マトリクスへの通電に伴う発熱を抑制するためには、超電導線材にある程度の量のマトリクスを有していることが望まれる。一方、超電導線材中のマトリクスの比率を高めると、超電導線材中の超電導材料部分が減少することで、臨界電流密度が減少してしまう。そのため、臨界電流密度を大きくしようとすると、超電導線材の径を大きく、即ち、超電導ケーブル自体を大きくする必要があるが、コンパクトなケーブル構造を望む場合好ましくない。そこで、発熱の抑制と臨界電流密度の減少抑制との双方をバランスよく実現させるためには、マトリクス比が1.5以上3.0以下であることが好ましい。マトリクス比とは、超電導層を構成する各超電導線材において、超電導材料の断面積に対するマトリクスの断面積の比率（マトリクスの断面積／超電導材料の断面積）とする。
- [0016] 上記超電導層は、このような超電導材線材を螺旋状に巻回することで形成するとよく、単層でも多層でもよい。用いる超電導線材の本数は、定常電流、及び最大電流が流れた場合に、運転温度において超電導層が超電導状態を維持できるように設計するとよい。多層とする場合、その層数も上記本数の設定の場合と同様に設計するとよい。また、多層とする場合、層間にクラフト紙などを巻回して層間絶縁層を設けると

、交流損失を低減することができて好ましい。更に、多層とする場合、超電導線材の巻き付け方向及び巻き付けピッチは、各層が分担する電流がほぼ均一となるように調整すると、超電導層に生じる交流損失を低減することができる。

[0017] そして、本発明の特徴とするところは、電気絶縁層と第二超電導層間、即ち、第二超電導層の内側に常電導金属材料からなる保護層（常電導金属層）を具えるところにある。そして、超電導層、特に、第二超電導層の外周には、電流を流すための常電導金属層を設けない。常電導金属としては、銅、アルミニウム、銀、銅合金、アルミニウム合金、銀合金などのように、超電導ケーブルが使用される冷媒温度、例えば、冷媒として液体窒素を用いる場合、液体窒素の温度近傍においても電氣的抵抗が小さい金属（銅、アルミニウムでは、77Kの比抵抗 $\rho = 2 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{cm}$ ）が挙げられる。常電導金属層は、上記常電導金属材料からなるパイプなどを用いて形成してもよいが、同材料をテープ状に加工したテープ状線材、又は断面円形状に伸線加工した丸線材を用いると形成し易く好ましい。例えば、複数の常電導金属材料からなる線材を電気絶縁層の外周に巻回して常電導金属層を形成するとよい。また、常電導金属層の形成に常電導金属材料からなる線材を用いた場合、形成し易いだけでなく、常電導金属層よりも下層に具えられる電気絶縁層や第一超電導層、フォーマに冷媒が浸入し易く好ましい。

[0018] 更に、上記常電導金属材料からなる線材を複数用いて常電導金属層を形成する場合、各線材は、その外周に素線絶縁層を具えた構成であることが好ましい。超電導導体に電流が流れることによって発生する磁場により、常電導金属層には、渦電流が発生する。この渦電流の発生を低減するには、常電導金属線材の外周が絶縁材料にて被覆されていることが好適である。素線絶縁層の形成は、エナメル被覆などが挙げられる。

[0019] 上記常電導金属層は、単層でもよいが、多層構造にすると、断面積を大きくすることができ、事故電流を効率よく分流させることができる。常電導金属材料からなる線材を用いて常電導金属層を形成する場合、線材の本数を調整することにより同層の断面積を任意に調整することができるため、パイプにより同層を形成する場合よりも要求に応じ易く好ましい。常電導金属層の断面積は、大きいほど事故電流を分流させるこ

とができるが、大き過ぎると、ケーブルが大型化してしまうため、事故電流を十分に分流できる大きさがあればよい。

[0020] また、常電導金属層を多層構造とする場合、同金属層を構成する各層は、互いに電氣的に絶縁されていることが好ましい。互いに絶縁されていることで、常電導金属層を構成する各層間に生じる渦電流損失を低減することができる。電氣的に絶縁する方法としては、例えば、クラフト紙、マイラー紙、カプトン(登録商標)テープなどを巻回することで層間絶縁層を形成することなどが挙げられる。

[0021] 短絡などの事故が生じた際、常電導金属層に事故電流を分流させるためには、超電導層と電氣的に接続されている必要がある。本発明において常電導金属層は、第二超電導層の内側に具えることから、第二超電導層と電氣的に接続させるとよい。このとき、超電導ケーブル(ケーブルコア)の全長に亘り、第二超電導層と常電導金属層とを電氣的に接続させると、定常電流を通電している際に電流が超電導層だけでなく常電導金属層にも流れて交流損失が増大する恐れがある。そこで、両者を全長に亘って接続するのではなく、ケーブルの両端部のみで接続させることが好ましい。そして、ケーブルの中間部は、交流損失の増大を減少するべく、電氣的に絶縁させておくことが好ましい。具体的には、例えば、ケーブルの全長に亘って第二超電導層と常電導金属層間に層間絶縁層を設けておき、ケーブルの両端部でこの層間絶縁層を除去し、第二超電導層と常電導金属層とをハンダなどにより接続するとよい。層間絶縁層は、例えば、クラフト紙、マイラー紙、カプトン(登録商標)テープなどを巻回することで形成することが挙げられる。

[0022] 第一超電導層の内周に具えられるフォーマは、銅やアルミニウムなどの超電導ケーブルが使用される冷媒温度近傍において、電氣的抵抗が小さい常電導金属から形成されたものが挙げられる。形状は、例えば、中空のパイプ状のものとしてもよいが、短絡などの事故の際、フォーマも事故電流を分担するため、フォーマに事故電流を分流させ易いように、断面積が大きくとれる中実のものが好ましい。また、中実のフォーマの場合、ケーブル構造をより小型化することもできる。中実形状のフォーマは、例えば、複数の常電導金属線材を撚り合わせて構成されるものが挙げられる。複数の常電導金属線材を撚り合わせるにより、機械的強度を向上させることができる。

フォーマを構成する常電導金属線材も、常電導金属層を構成する常電導金属線材と同様に、金属線材の外周に素線絶縁層を具えておくと、渦電流損失の低減を図ることができて好ましい。また、撚り合わせた常電導金属線材は、断面が円形状となるように圧縮成型を行うことが望ましい。圧縮成型を行うことで、各素線間の隙間が小さくなるため、フォーマの外径を小さくして、ケーブル構造を小型化することができる。また、圧縮成型を行うことでフォーマの外表面の凹凸を小さくして滑らかにすることができ、フォーマの外周に第一超電導層を形成する際、第一超電導層の形状がいびつにならず、第一超電導層の形状への影響を小さくすることが可能である。

- [0023] 第一超電導層の外周に設ける電気絶縁層は、PPLP(登録商標)などの半合成絶縁紙やクラフト紙などを巻回して形成することが挙げられる。電気絶縁層の厚さは、適用するケーブル線路の課電電圧や、インパルス課電電圧に応じて適宜設定するとよい。第二超電導層の外周には、補強層を設けるとよい。補強層は、クラフト紙や布テープを巻回して形成することが挙げられる。

発明の効果

- [0024] 本発明超電導ケーブルは、常電導金属層を設けて、短絡などの事故の際に生じた大きな事故電流をこの常電導金属層に分流させることで、事故の際、超電導層に過大な事故電流が流れて超電導層が過剰に温度上昇したり、この温度上昇に伴い損傷することを防止することができるという特有の効果奏する。特に、本発明では、上記常電導金属層を超電導層、特にシールド層よりも内側に配置し、同金属層のインダクタンスを超電導層よりも大きくすることで、定常電流の通電時において、同金属層への電流が抑制されて電流が流れにくくなるため、超電導層の交流損失を低減することができる。
- [0025] また、常電導金属からなるテープ状線材、断面円形状の丸線材により常電導金属層を形成すると、形成し易いと共に、常電導金属層よりも下層に具える超電導導体やフォーマに冷媒を浸漬させ易い。更に、これら線材として、金属部分の外周に素線絶縁層を具えるものを用いると、常電導金属層に生じる渦電流損失を低減することができる。
- [0026] 一方、高温超電導ケーブルでは、冷媒として液体窒素が用いられ、ケーブル線路

を構築した場合、上記液体窒素は、ケーブル内を循環させて用いられる。そのため、ケーブル各部の冷却により生じた熱損失により温度上昇した冷媒をケーブル線路途中に設けた冷媒機により冷却するシステムが利用されている。このようなシステムが利用したケーブル線路に本発明超電導ケーブルを用いると、上記のように定常電流の通電時において熱損失が小さいため、冷凍機に必要な冷却容量も小さくて済み、冷却コストを低減できると共に、所望の運転温度に冷却する時間も短くできる。

図面の簡単な説明

- [0027] [図1]本発明超電導ケーブルを構成するケーブルコアの概略を示す斜視図である。
[図2](A)は、三芯一括型の三相超電導ケーブルの断面図、(B)は、ケーブルコアの概略を示す斜視図である。

符号の説明

- [0028] 1 ケーブルコア、2 フォーマ、3 超電導導体、4 電気絶縁層、5 常電導金属層、6 シールド層、7 補強層、100 三相超電導ケーブル、101 断熱管、101a 外管、101b 内管、102 ケーブルコア、103 空間、104 補強層、200 フォーマ、201 超電導導体、202 電気絶縁層、203 シールド層、204 外傷保護層。

発明を実施するための最良の形態

- [0029] 以下、本発明の実施の形態を説明する。
- [0030] 図1は、本発明超電導ケーブルを構成するケーブルコアの概略を示す斜視図である。ケーブルコア1は、内側から順にフォーマ2、超電導導体3、電気絶縁層4、シールド層6、補強層7を具える。本発明の特徴とするところは、シールド層6の内周、即ち、電気絶縁層4とシールド層6間に、銅層(常電導金属層)5を具える点にある。以下、各構成を詳しく説明する。
- [0031] (フォーマ)
- 本例において、フォーマ2は、銅線の表面にエナメル被覆からなる素線絶縁層を具える常電導金属線材を複数本撚り合わせた後、断面が円形状となるように圧縮成型した中実形状のものをを用いた。中実形状のフォーマとすることで、中空形状のものよりも断面積が大きくなるため、短絡事故などの際に大電流が生じて、この大電流を効率よくフォーマに分流させることができると共に、ケーブル構造をコンパクト化すること

ができる。また、各線材が絶縁されていることで、渦電流損失を低減することができる。更に、複数本撚り合わせてから圧縮成型したことで、機械的強度に優れると共に、フォーマ2の外周に同心円状の超電導導体3を形成し易い。なお、フォーマ2は、ケーブルコア1の両端部において超電導導体3と電氣的に接続されており、短絡事故などの際、事故電流をフォーマ2に分流させることができる。

[0032] (超電導導体及びシールド層)

本例において、超電導導体3及びシールド層6は、パウダーインチューブ法により作製した超電導線材、具体的には、銀または銀合金からなるマトリクスと、このマトリクスに内蔵されるBi2223系超電導材料とから構成される超電導線材を複数巻回して形成した。特に、本例では、マトリクス比が1.5以上3.0以下となるように調整した超電導線材を用いた。マトリクス比が上記範囲を満たすことで、臨界電流密度を減少させることがなく、かつ短絡事故などの際に常電導に移行してマトリクスに分流された事故電流の通電により生じる発熱を抑制することができる。

[0033] 超電導導体3は、上記超電導線材をフォーマ2上に巻回することで、シールド層6は、上記線材を銅層5上に巻回することで形成した。本例では、超電導導体3及びシールド層6の双方とも、多層構造とした。具体的には、超電導導体3は4層、シールド層6は2層とした。そして、超電導導体3、シールド層6を構成する各層間には、クラフト紙の巻回による層間絶縁層を設けた。また、各層の巻き付け方向、巻き付けピッチは、各層が分担する電流がほぼ均一となるように調整した。これら構成により、超電導導体やシールド層に生じる交流損失を効率よく低減することができる。

[0034] (電気絶縁層)

本例において電気絶縁層4は、超電導導体3上に半合成絶縁紙(住友電気工業株式会社製PPLP:登録商標)を巻回して構成した。

[0035] (銅層)

銅層5は、電気絶縁層4の外側、即ち、シールド層6と補強層7間ではなく、シールド層6の内側、即ち、電気絶縁層4とシールド層6間に設けることで、シールド層6よりもインダクタンスを大きくしている。この構成により、定常電流の通電時において、交流損失を低減することができながら、短絡事故などの際において、フォーマ2と共に事

故電流を分流させて、超電導導体3やシールド層6の熱損失を低減する機能を果たす。本例において銅層5は、銅からなるテープ状線材で、外周にエナメル被覆による素線絶縁層を具えるものを電気絶縁層4上に巻回して形成した。テープ状線材を用いることで、銅層5の下層に存在するフォーマ2、超電導導体3、電気絶縁層4に冷媒が浸漬し易い。また、素線絶縁層を具える線材を用いることで、超電導導体3の通電により生じる磁場にて銅層5に生じる渦電流損失を低減することができる。また、本例では、図示していないが、銅層5は、短絡事故などの際に事故電流を効率よく分流させることができるように多層構造として断面積を大きくしている。これら銅層5を構成する各層間には、クラフト紙を巻回した層間絶縁層を形成し、層間に生じる渦電流損失を低減可能な構成とした。

[0036] また銅層5は、断面円形状の丸線材を巻回して形成されたものであっても良く、その線材の外周には素線絶縁層が形成されていても良い。また銅層5は多層構造であっても良く、多層構造を構成する各層は電氣的に絶縁されていても良い。

[0037] 銅層5とシールド層6間は、ケーブルコア1の全長に亘りクラフト紙を巻回した層間絶縁層を形成している(図示せず)。そして、ケーブルコア1の両端部において、銅層5とシールド層6間に設けた層間絶縁層を部分的に除去し、ハンダにより、シールド層6と銅層5とを電氣的に接続している。この構成により、定常電流の通電時に銅層5に電流が流れて交流損失が増大するのを防止すると共に、短絡事故などの際、事故電流を銅層5に分流させることができる。

[0038] (補強層)

本例において補強層7は、シールド層6上にクラフト紙を巻回して構成した。なお、この補強層7上には布テープを巻回して構成した保護層を具える。

[0039] なお、図1に示すケーブルコア1を1本用いて単相の超電導ケーブルを構成してもよいし、コア1を3本用いて図2に示すような三相の超電導ケーブルとしてもよい。

[0040] (試験例)

上記図1に示すケーブルコアを3本撚り合わせて図2に示すような三芯一括型の三相超電導ケーブルを作製して、短絡試験を行ってみた。以下、ケーブルコアの各層の構成条件を示す。

[0041] ケーブルコア:外径41mm ϕ

フォーマ:直径2.5mm ϕ の銅線を37本使用

圧縮成型後の圧縮成形体の直径15.6mm ϕ

圧縮成形体の外周にクラフト紙(厚さ0.1mm)を三層巻きにして表面の凹凸を小さくしたものを使用(クラフト紙巻回後の直径16.2mm ϕ)

超電導導体及びシールド層:マトリクス比2.0のBi2223系超電導線材使用

線材の使用本数(内側から順に);

超電導導体:13本、14本、15本、14本

シールド層:28本、29本

各層のピッチ(内側から順に);

超電導導体:170mm(Z巻き)、350mm(Z巻き)、

550mm(S巻き)、150mm(S巻き)

シールド層:350mm(Z巻き)、480mm(Z巻き)

層間絶縁層は、厚さ0.15mmとした

電気絶縁層:厚さ7mm

銅層:断面積 1mm^2 のテープ状線材使用、2層構造、

線材の使用本数(内側から順に)27本、28本

層間絶縁層の厚さ0.15mm

冷媒:液体窒素

[0042] 上記構成を具える超電導ケーブルに31.5kAの電流を1秒通電したところ、超電導導体、シールド層の温度は、それぞれ最大で140K、120Kであった。その後、超電導導体及びシールド層の温度は、通電前の値に戻り、超電導導体やシールド層が損傷することがなかった。また、定常電流(1000A)を通電した際のジュール損を調べたところ、全電流の3%が銅層に流れ、ジュール損は0.03W/mであった。比較として、シールド層の内周ではなく、シールド層の外周に銅層を設けた超電導ケーブルを作製して、同様の電流を流してジュール損を調べたところ、全電流の6%が銅層に流れ、ジュール損は0.13W/mであった。従って、シールド層の内周に銅層を設け

た本発明ケーブルは、通常電流の通電時において、交流損失を低減できることがわかる。

- [0043] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

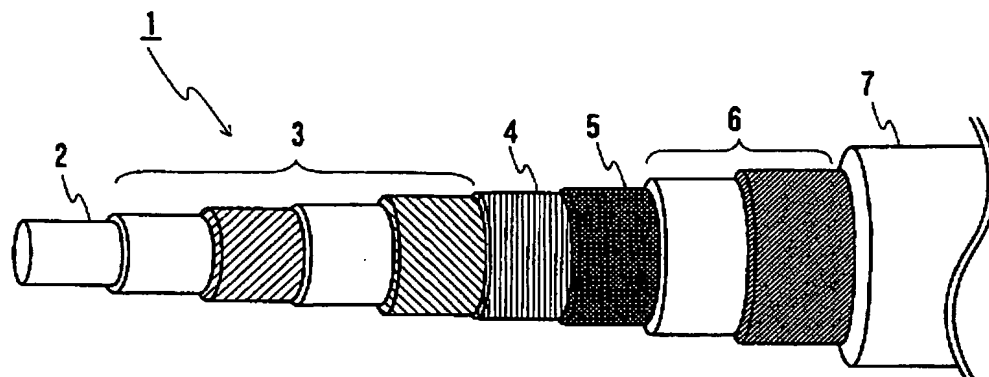
産業上の利用可能性

- [0044] 本発明は、短絡などの事故の際に超電導層の温度上昇を抑制することができる。また、通常通電時において交流損失を低減することができる。従って、電力供給を行う分野において、本発明を効果的に利用することができる。

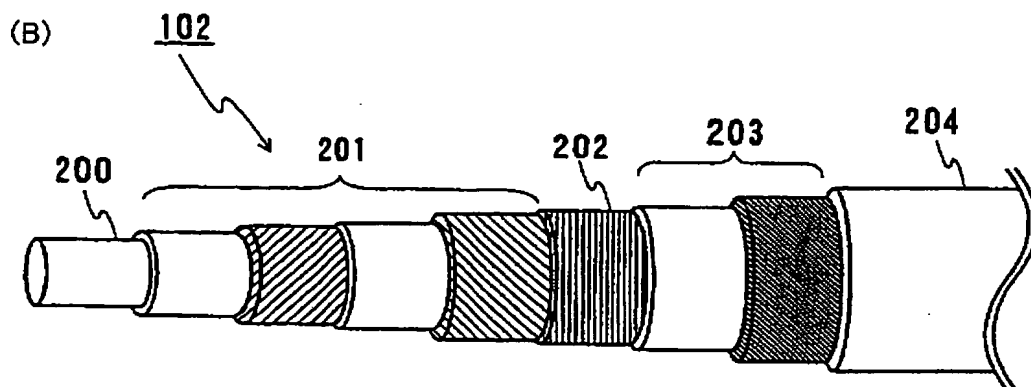
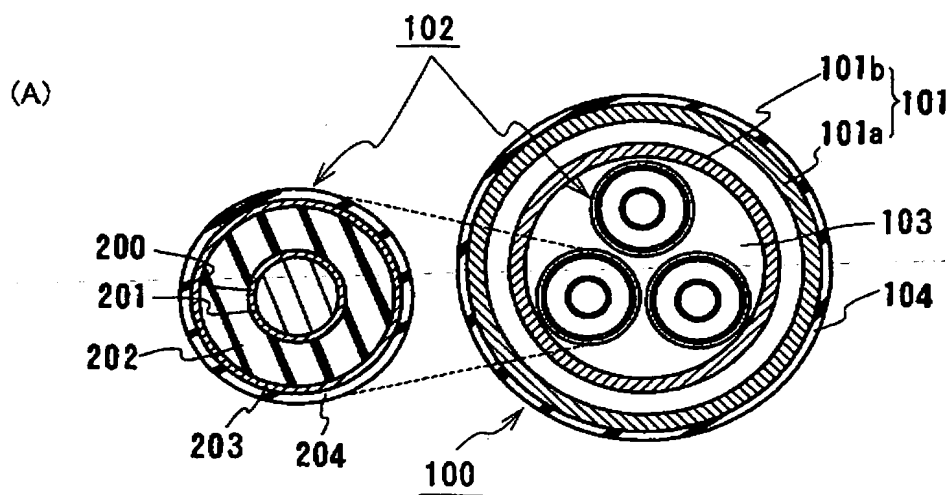
請求の範囲

- [1] 常電導金属からなるフォーマ(2)と、
前記フォーマ(2)の外周に形成される第一超電導層(3)と、
前記第一超電導層(3)の外周に形成される電気絶縁層(4)と、
前記電気絶縁層(4)の外周に形成される第二超電導層(6)と、
前記電気絶縁層(4)と前記第二超電導層(6)との間に形成される常電導金属層(5)
)とを具えることを特徴とする超電導ケーブル。
- [2] 前記第二超電導層(6)と前記常電導金属層(5)とは、ケーブルの中間部において
電氣的に絶縁されており、ケーブルの両端部において電氣的に接続されていること
を特徴とする請求項1記載の超電導ケーブル。
- [3] 前記常電導金属層(5)は、常電導金属からなるテープ状線材、又は断面円形状の
丸線材を巻回して形成されることを特徴とする請求項1記載の超電導ケーブル。
- [4] 上記線材の外周には、素線絶縁層を具えることを特徴とする請求項3記載の超電
導ケーブル。
- [5] 前記常電導金属層(5)は、多層構造であることを特徴とする請求項3記載の超電導
ケーブル。
- [6] 前記常電導金属層(5)を構成する各層は、電氣的に絶縁されていることを特徴とす
る請求項5記載の超電導ケーブル。
- [7] 前記超電導層(3、6)は、銀又は銀合金からなるマトリクスと、このマトリクスに内蔵さ
れる超電導材料とから構成される超電導線材を巻回して形成されることを特徴とする
請求項1記載の超電導ケーブル。
- [8] 前記超電導線材のマトリクス比が1.5以上3.0以下であることを特徴とする請求項
7記載の超電導ケーブル。
- [9] 前記フォーマ(2)は、複数の常電導金属線材を撚り合わせて構成され、前記常電
導金属線材は、その外周に素線絶縁層を具えることを特徴とする請求項1記載の超
電導ケーブル。
- [10] 前記フォーマ(2)は、複数の常電導金属線材を撚り合わせ、断面円形状に圧縮成
型されて形成されることを特徴とする請求項1記載の超電導ケーブル。

[図1]



[図2]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/013119

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01B12/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01B12/00-12/16, 13/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-235816 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 29 August, 2000 (29.08.00), Claims (Family: none)	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
06 December, 2004 (06.12.04)

Date of mailing of the international search report
21 December, 2004 (21.12.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01B12/02

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01B12/00~12/16、13/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2004年

日本国登録実用新案公報 1994-2004年

日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P 2000-235816 A (住友電気工業株式会社) 2000. 08. 29, 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	1-10

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に関する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

06.12.2004

国際調査報告の発送日

21.12.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

米田 健志

4 K

8924

電話番号 03-3581-1101 内線 3435